



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

# EFECTO DE LA TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN EN EL DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COLOCADAS EN LA RED CARRETERA FEDERAL DE MÉXICO

José Rafael Bernal Padilla<sup>1</sup>, Vinicio Andrés Serment Guerrero<sup>2</sup>,  
Bruno López Hernández<sup>3</sup>, Omar Viveros Carrera<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Dirección General de Servicios Técnicos, Ciudad de México, México, jose.bernal@sict.gob.mx

<sup>2</sup> Dirección General de Servicios Técnicos, Ciudad de México, México, vserment@sict.gob.mx

<sup>3</sup> Dirección General de Servicios Técnicos, Ciudad de México, México, bruno.lopez@sict.gob.mx

<sup>4</sup> Dirección General de Servicios Técnicos, Ciudad de México, México, omar.viveros@sict.gob.mx

## Resumen

Durante varios años se ha presentado una problemática en el control de las temperaturas de mezclado y compactación de las mezclas asfálticas colocadas en la red carretera federal de México, esto causado por diversos factores durante la producción y tendido de ésta. Por medio de este proyecto de investigación, directamente de campo se determinaron los efectos de las temperaturas en el desempeño de las mezclas asfálticas, a través de la extracción de núcleos y placas de esta capa estructural. Se identificaron tramos con variaciones de temperaturas que datan de entre 10° C y 30° C por debajo del rango de temperaturas estipuladas por el distribuidor del cemento asfáltico correspondiente, esto, tanto para temperaturas de mezclado como para temperaturas de compactación. Las muestras fueron evaluadas bajo las pruebas de desempeño Tensión Indirecta (TSR) y Rueda Cargada de Hamburgo (HWT). Los resultados obtenidos, muestran el decremento de durabilidad en términos de vida útil de la capa de mezcla asfáltica, representando un sobre costo para México. Asimismo, estos resultados son de gran utilidad para mostrar los efectos adversos de esta práctica y concientizar y capacitar al personal al frente de la toma de decisiones y ejecución de los proyectos de pavimentación.

**Palabras Clave:** Efecto de Temperatura, Mezclas Asfálticas, Rueda Cargada de Hamburgo, Tensión Indirecta, Conservación de Carreteras.

## Introducción

Hasta el 2022 en México se tenían aproximadamente 402,622 kilómetros como parte de la red carretera federal [1], de los cuales el 42% se encuentran en un estado físico que requiere ser atendido para mejorar su nivel de servicio.

Considerando los pilares que toma en cuenta el Foro Económico Mundial para determinar la competitividad de un país, la importancia que tiene la infraestructura de un país en su desarrollo es esencial ya que ocupa el segundo pilar de dicha evaluación, por lo que aumentarla y conservarla en condiciones óptimas es cuestión prioritaria. Para ello requerimos ser capaces de realizar un manejo eficiente de los recursos utilizados y proyectar, diseñar y ejecutar los trabajos en la infraestructura carretera empleando las herramientas necesarias para lograr la ya mencionada eficiencia.

La durabilidad de las mezclas asfálticas no solo impacta en el aspecto económico, sino también en el nivel de servicio y seguridad hacia los usuarios, actualmente en México el diseño de las mezclas asfálticas se realiza mediante dos metodologías de diseño, método Marshall y método de diseño por desempeño (superpave), bajo la necesidad de predecir el comportamiento de las mezclas asfálticas durante su vida útil se ha estado realizando un esfuerzo importante para migrar totalmente el uso de metodologías de diseño por desempeño.



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

Actualmente en México al igual que en muchos países de América Latina vemos como se presentan escenarios que afectan la vida útil de las estructuras de pavimentos de manera acelerada, tales como, exceso de cargas, tasas de crecimiento altas, falta de control de calidad en los procesos, etc. Considerando de manera específica lo referente al control de calidad de los procesos constructivos y derivado del monitoreo de los trabajos ejecutados por la dependencia se han detectado aplicaciones en las que las temperaturas de fabricación y colocación de mezclas asfálticas se encuentran fuera de los rangos establecidos en sus respectivos diseños, por lo que mediante las evaluaciones de desempeño mostradas en este estudio determinamos el efecto de dichas temperaturas en el comportamiento de las mezclas asfálticas. Los rangos de temperatura a los cuales fueron de entre 10°C y 30°C por debajo de lo requerido en el diseño.

Con la finalidad de determinar el efecto de dichas condiciones desfavorables se procedió a evaluar dos parámetros de desempeño que nos ayudaran a observar el posible comportamiento de dichas mezclas hacia la susceptibilidad a la humedad y a la deformación permanente, éstas fallas correlacionadas a la presencia de baches y roderas, las cuales son fallas que afectan el nivel de servicio y la seguridad de los usuarios, los cuales a su vez propician el incremento de los gastos de operación.

## 2 Caso de Estudio

Como caso de estudio utilizaremos la información de cuatro subtramos carreteros, los cuales corresponden a los siguientes cadenamientos: 7+112, 7+450, 92+260 y 92+460 de la Carretera Federal MEX-119, Tramo Puebla - Tlaxcala ubicada en el estado de Puebla, México.

La estructura existente en dicho tramo se muestra a continuación:

### 2.1 Obtención de muestras

La obtención de las muestras se realizó mediante la identificación de los subtramos donde se detectaron condiciones fuera de rango en cuestión de temperaturas de compactación y en los cuales se procedió a realizar las extracciones de núcleos para su evaluación en laboratorio.

Durante la caracterización de las mezclas evaluadas se observó el alto porcentaje de vacíos de aire presentes en las mezclas asfálticas, esto como primer efecto de la temperatura de compactación fuera de rango.

Dichos porcentajes de vacíos se presentan a continuación:

Tabla 1. Porcentaje de Vacíos de Aire

Características	kilometrajes				Especificación	Requisito
	7+112	7+450	92+260	92+460		
Vacíos de aire en la mezcla asfáltica compactada (VMC), %	9.0	12.9	15.3	14.0	N·CMT·4·05-003	3-5

Sabemos que la temperatura es un factor que interviene en las características del asfalto, ya que es un material viscoelástico; a temperaturas bajas, se comporta como un sólido viscoso, y a temperaturas altas tiende a comportarse como un líquido viscoso.

Con lo mencionado anteriormente podemos entender por qué el porcentaje de vacíos de las mezclas asfálticas evaluadas es alto.

## 3 Evaluación a la Tensión Indirecta (TSR)



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

La evaluación de la Susceptibilidad a la Humedad de las mezclas asfálticas mediante la prueba de Tensión Indirecta (TSR) nos permite identificar un comportamiento vinculado al modo de falla presentado en las mezclas asfálticas cuando se tiene presencia de humedad y que de manera física se representa con la formación de baches.

De manera indirecta también nos permite identificar si la adherencia entre el agregado pétreo y el asfalto es la adecuada.

Para prevenir daños del agua a la mezcla asfáltica es importante tener una película de asfalto cubriendo el agregado pétreo adecuada, para ello es esencial tener el asfalto a la temperatura recomendada para su mezclado, ya que, como sabemos, es un material sensible a la temperatura, que modifica su viscosidad.

Recordemos que el valor de TSR representa la conservada entre los especímenes evaluados en condición seca y los especímenes acondicionados, para calcular el porcentaje de tensión indirecta se utiliza la siguiente expresión [2]:

$$TSR = \frac{\sigma_{t \text{ húmedo}}}{\sigma_{t \text{ seco}}} \times 100 \quad (2.5)$$

Donde:

TSR: Resistencia al daño inducido por humedad, expresada en %

$\sigma_{t \text{ húmedo}}$ : esfuerzo a tensión indirecta de especímenes acondicionados, KPa

$\sigma_{t \text{ seco}}$ : esfuerzo a tensión indirecta de especímenes no acondicionados, KPa



Figura 1. Especímen evaluado en prueba de TSR

Con respecto a la evaluación del parámetro de TSR en las mezclas analizadas, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 2. Resultados de TSR



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.

Características	kilometrajes				Especificación	Requisito
	7+112	7+450	92+260	92+460		
Susceptibilidad a la Humedad mediante la Tensión Indirecta (TSR), %	88.4	59.7	89.7	85.8	M·MMP·4·05·052	80

Con los datos de la Tabla 2, las mezclas presentan un comportamiento adecuado en la prueba de TSR, salvo la mezcla correspondiente al subtramo 7+450, donde el valor de la conservada está fuera del rango requerido, por lo que es una mezcla con muy alta susceptibilidad a la humedad.

#### 4 Evaluación a la Deformación Permanente mediante la Rueda Cargada de Hamburgo (HWT)

La deformación permanente representa la acumulación de pequeñas deformaciones producidas con cada aplicación de carga, esta deformación es irre recuperable, es decir la mezcla asfáltica se encuentra en su fase plástica.

El comportamiento de las mezclas asfálticas con respecto a las deformaciones permanentes está muy influenciado por el tipo de asfalto utilizado y por la composición granulométrica, origen y forma de los agregados pétreos.

Así mismo la temperatura del asfalto es un factor que afecta fuertemente a la deformación permanente. No solo las temperaturas máximas, sino también los gradientes de temperatura pueden tener influencia sobre la deformación permanente.

La deformación permanente es el deterioro representado por la existencia de una sección transversal de la superficie que ya no ocupa su posición original.

Por otra parte, debemos tener en cuenta que otro factor que influye en el desempeño de las mezclas asfálticas a la deformación permanente son el porcentaje de vacíos de aire ( $V_a$ ), a mayor contenido de vacíos de aire, mayor es la susceptibilidad a la deformación permanente.

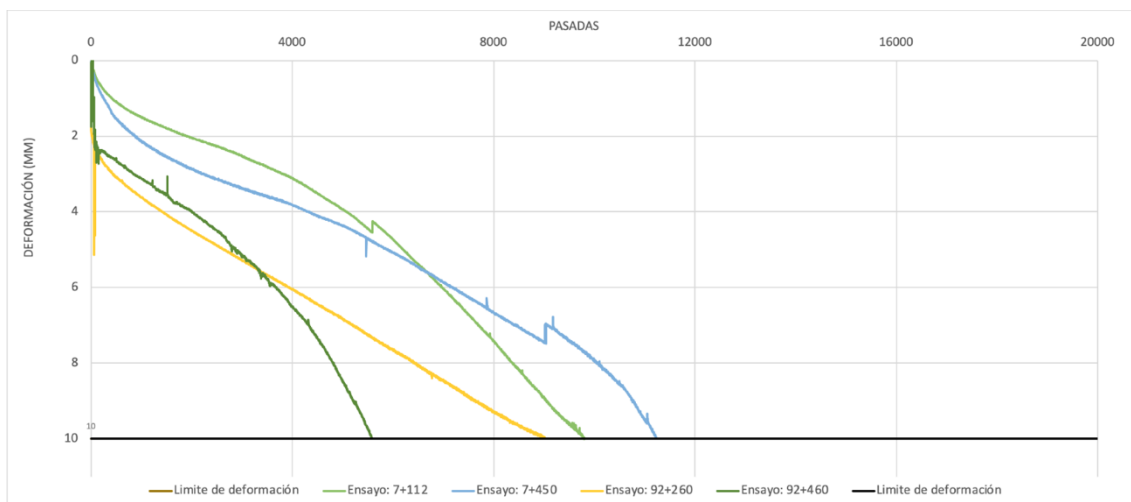


Figura 2. Resultados de Rueda Cargada de Hamburgo



Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.



Figura 3. Especímenes evaluados en prueba de Rueda Cargada de Hamburgo

Como podemos observar en la Figura 2, los resultados de la prueba rueda cargada de Hamburgo predicen un desempeño desfavorable de las mezclas evaluadas al tener una deformación mayor a 10 mm [3], con lo cual estas mezclas presentarían fallas de manera prematura bajo la acción de las cargas



**Asociación Mexicana  
del Asfalto, A. C.**

vehiculares, además cabe mencionar que durante la evaluación de dichas mezclas asfálticas se pudo observar la expulsión de agregado fino (Figura 3), lo que agudiza el desempeño.

## **5 Conclusiones**

Sin duda es sumamente importante buscar la eficiencia en el manejo de los recursos utilizados en los trabajos de diseño, construcción y conservación de la red carretera para lograr tener una infraestructura con el nivel de servicio necesario y satisfacer las necesidades de los usuarios.

El pilar de la eficiencia es la calidad; la calidad de los materiales utilizados, el procedimiento constructivo adecuado, el personal de obra capacitado, maquinaria adecuada, todo ello debe estar bajo un monitoreo constante por parte de los involucrados en la realización de los proyectos.

El control de calidad es parte fundamental, ante la falta de ello, se pueden presentar deficiencias como las que presentaron las mezclas asfálticas evaluadas en este estudio.

El desempeño deficiente que se puede predecir de dichas mezclas por medio de los parámetros de desempeño evaluados, nos indica que las ya mencionadas mezclas no cumplirán con su vida útil de diseño, esto conllevará a la necesidad de asignar recursos para una rehabilitación anticipada interviniendo nuevamente la vialidad.

Como se pudo observar con los resultados de las evaluaciones realizadas para este estudio, se confirma la afectación en el desempeño de una mezcla asfáltica cuando esta se compacta a una temperatura por debajo de la recomendada en el diseño, con cual disminuimos su vida útil, en el caso de las mezclas de este estudio para la prueba de TSR para determinar la susceptibilidad a la humedad, solo la mezcla del subtramo 7+450 presenta un valor de la conservada inferior al requerido, mientras que en la prueba de Rueda Cargada de Hamburgo, ninguna presenta un comportamiento adecuado, con lo cual se espera presenten falla por deformación permanente.

Es sumamente importante respetar y replicar las recomendaciones de los diseños de las mezclas asfálticas ya que de lo contrario y como lo observamos estaremos afectando el desempeño de las mezclas asfálticas lo cual conlleva aumentar las intervenciones de mantenimiento en las carreteras y un uso poco eficiente de los recursos financieros.

## **9 Referencias**

- [1] Dirección General de Planeación de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes. (Octubre 2023). Estadística Mensual del Sector Infraestructura, Comunicaciones y Transportes.
- [2] Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes. (2021). Susceptibilidad de las mezclas asfálticas compactadas al daño inducido por humedad. M-MMP-4-05-052/21.
- [3] Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes. (2021). Deformación Permanente por Rodera con Rueda Cargada de Hamburgo. M-MMP-4-05-053/21.